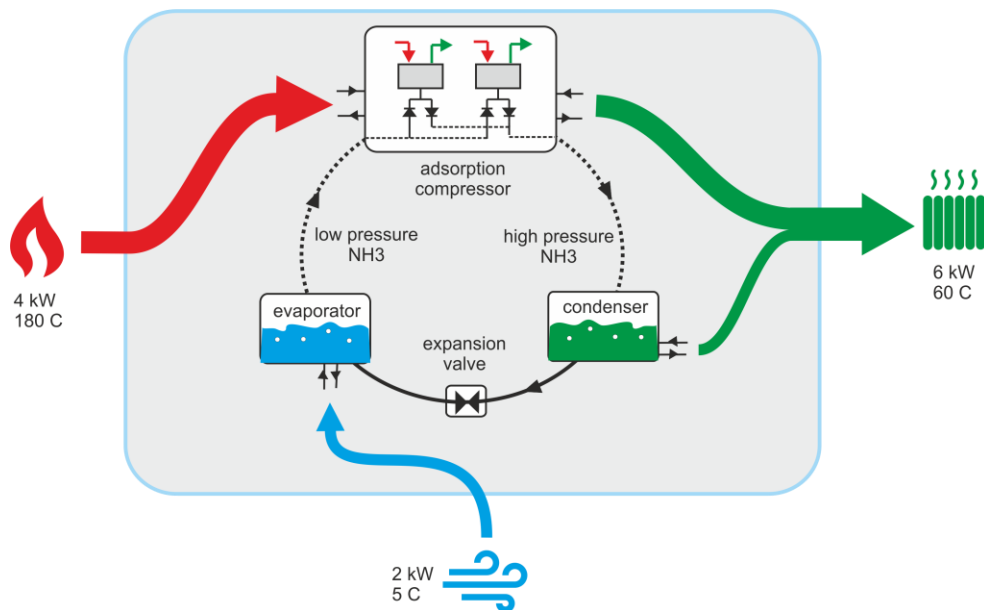


Ontwikkeling van een prototype adsorptiecompressor

Het hart van een innovatieve en compacte warmtepomp voor duurzame verwarming en koeling in de bestaande bouw

Openbaar eindrapport

TKI project, nr. TEID215056



Inhoudsopgave

1	GEGEVENS PROJECT	3
2	ACHTERGROND EN PROJECTDOELSTELLING.....	4
	2.1.1 <i>De uitdaging: energiezuinige verwarming van bestaande woningen</i>	4
	2.1.2 <i>De Cooll carbon-ammonia adsorptiewarmtepomp.....</i>	5
	2.1.3 <i>Projectdoelstelling.....</i>	7
3	BEHAALDE RESULTATEN, KNELPUNTEN EN PERSPECTIEF VOOR TOEPASSING	7
4	BIJDRAGE AAN DE DOELSTELLINGEN VAN DE REGELING	8
5	SPIN-OFF	8
6	PUBLICATIES	8

1 Gegevens project

Projectnummer:	TEID215056
Projecttitel:	Ontwikkeling van een prototype adsorptiecompressor - Het hart van een innovatieve en compacte warmtepomp voor duurzame verwarming en koeling in de bestaande bouw
Penvoerder:	Cool Sustainable Energy Solutions B.V. Hengelsestraat 298A 7521 AM Enschede tel: 053-7890623
Contactpersoon:	Johannes Burger, johannes.burger@cool.eu
Mede-aanvragers:	Reith Laser B.V., Bijsterhuizen 2429, 6604 LK Wijchen BDR Thermea, Kanaal Zuid 106, 7332 BD Apeldoorn
Projectperiode:	16-9-2015 t/m 30-6-2018
Datum van publicatie:	31-3-2019

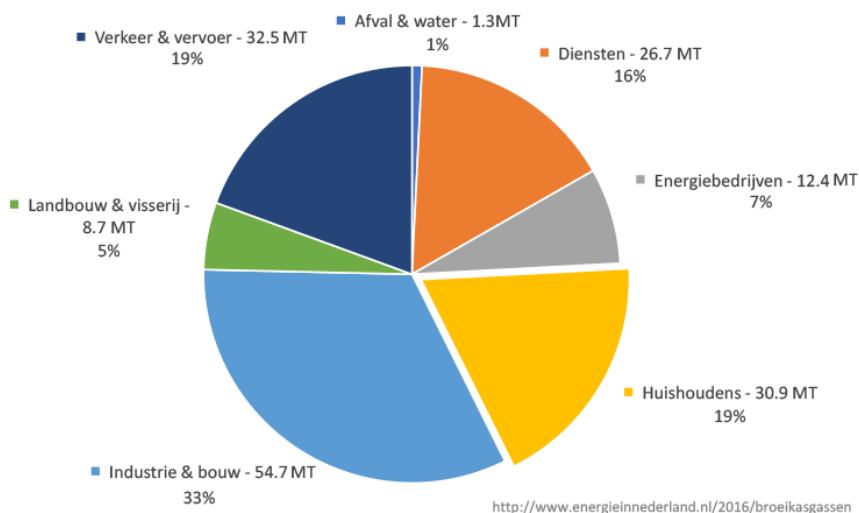
Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI), Topsector Energie, uitgevoerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

2 Achtergrond en projectdoelstelling

2.1.1 De uitdaging: energiezuinige verwarming van bestaande woningen

Ruimteverwarming. Nederland telt ongeveer 7.8 miljoen woningen waarvan ruim 85% wordt verwarmd met cv-ketels. Ongeveer 19% van de totale Nederlandse CO₂ uitstoot is toe te wijzen aan deze woningen. Bijna twee derde van deze CO₂ uitstoot komt voor rekening van ruimteverwarming en warm tapwater, de rest komt voor rekening van de elektriciteitsopwekking voor gebruik in woningen. Daarmee vormt de CO₂ uitstoot voor ruimteverwarming van woningen en tapwater de grootste bijdrage van de CO₂ uitstoot van huishoudens.

CO₂ uitstoot doorberekend naar sectoren, 2016



Nieuwbouw. De CO₂ uitstoot voor ruimteverwarming van nieuwbouw is in verhouding zeer beperkt. Relatief gezien is het jaarlijkse aantal nieuwe woningen beperkt (0.8% groei van de woningvoorraad), en deze nieuwe woningen hebben door goede isolatie een lage warmtevraag. Die lage warmtevraag maakt het vervolgens mogelijk om lage temperatuur vloerverwarming toe te passen. Hierdoor is, ongeacht welke opwekmethode, de warmtevraag en bijbehorende CO₂ uitstoot gering.

Bestaande bouw. De grootste besparing op ruimteverwarming moet dus gehaald worden in bestaande woningen die nu voor een groot deel met gasgestookte ketels en hoge temperatuur (HT) verwarmingssystemen worden verwarmd. Deze woningen hebben immers een veel grotere warmtevraag dan nieuwbouwwoningen en vormen de komende tientallen jaren nog steeds het overgrote deel van de woningvoorraad. Hier ligt dus, zowel economisch als technisch, dé grote uitdaging.

Allereerst zal waar mogelijk de warmtevraag naar beneden gehaald moeten worden door verbeterde isolatie en/of (kostbare) renovatie van de woningschil. Daarnaast zal per type woning of gebied gekeken moeten worden naar methodes om de warmte met minder CO₂intensiteit op te wekken.

Van-het-gas-af. Van diverse kanten wordt geopperd om de komende jaren woningen van het gas af te sluiten, en op andere manieren te verwarmen. In dichtbebouwde gebieden kunnen hiervoor soms warmtenetten worden toegepast als in de omgeving (industriële) restwarmte van voldoende kwaliteit of warmte uit efficiënte WKK's beschikbaar is. Dit geldt echter maar voor een beperkt gedeelte van de bestaande bouw. Daarnaast worden elektrische warmtepompen vaak als duurzaam alternatief genoemd voor HR-ketels. In Nederland is dit echter vaak niet het geval.

Elektrische warmtepompen. Toepassing van volledig elektrische warmtepompen in bestaande woningen vragen grote aanpassingen voor: 1) isolatie van de woning (altijd goed!); 2) ontsluiting van de warmtebron (meestal een bodembron) en 3) het CV-afgiftesysteem om de afgifte bij een lage temperatuur (vloerverwarming) mogelijk te maken. Elektrische warmtepompen functioneren om fundamentele redenen namelijk slecht bij een hoge temperatuurlift (= temperatuurverschil van buitentemperatuur naar CV-temperatuur). Zonder deze kostbare aanpassingen zijn elektrische warmtepompen in bestaande woningen daarom vaak geen energiezuinig alternatief voor de HR-ketel,

en leiden ze vaak zelfs tot een stijging van de CO₂ uitstoot zolang de stroom deels uit kolencentrales komt. In de discussie over het loskoppelen van bestaande woningen van het gasnet wordt vaak aan deze feiten voorbijgegaan. Bovendien vraagt grootschalige toepassing van volledig elektrische warmtepompen in bestaande woningen om grote aanpassingen in het bestaande elektriciteitsnet vanwege het benodigde extra elektrische vermogen in koude periodes. Dit betekent dat er feitelijk voor de grootste groep woningen in Nederland geen serieus CO₂ besparend alternatief is voor de HR-ketel, afgezien dan van 1) hybride warmtepompen die maar beperkt CO₂ besparen; 2) situaties waarin geschikte warmtenetten beschikbaar zijn.

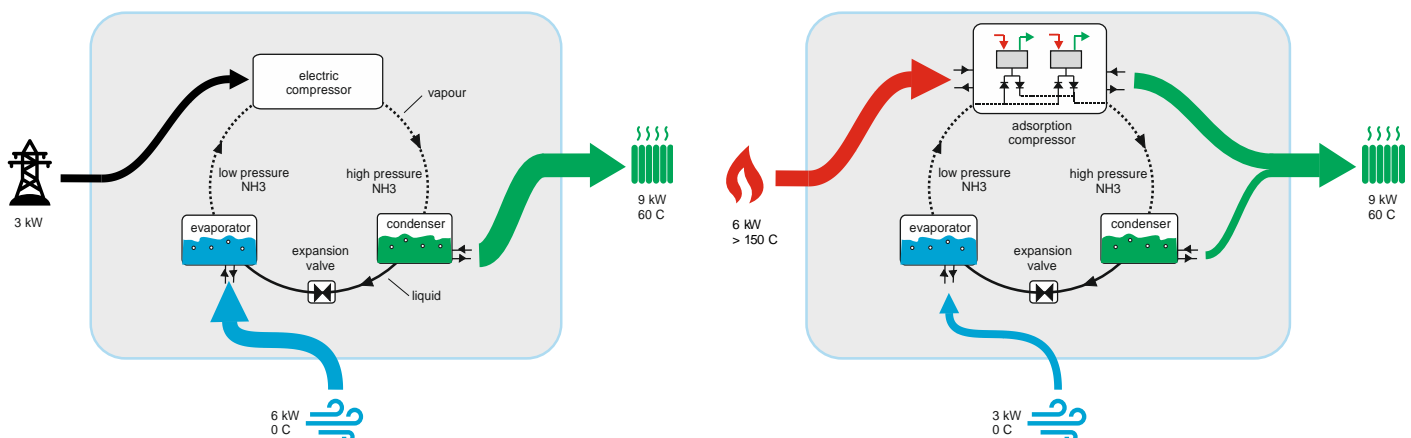
Hierdoor zal in de bestaande bouw met bestaande gasaansluitingen een grote markt voor duurzame gasgestookte systemen ontstaan, ter vervanging van de HR-ketel die onder invloed van het Klimaatakkoord uitgefaseerd gaat worden.

Sorptiewarmtepompen. Sorptiewarmtepompen zijn in principe beter geschikt voor toepassing in bestaande woningen doordat deze minder prestatieverlies lijden bij hogere afgiftemperaturen (nodig bij bestaande radiatoren) en lagere brontemperaturen (bij gebruik van buitenlucht, in de bestaande bouw een gemakkelijker toe te passen warmtebron dan de bodem). Op de markt beschikbare ab- en adsorptiewarmtepompen zijn echter voor toepassing in woningen veel te groot in vermogen, afmetingen en gewicht. De innovatieve technologie van Cooll lost deze problemen op doordat hiermee een efficiënte adsorptiewarmtepomp kan worden gerealiseerd in een licht en compact systeem, dat op termijn tegen een lage kostprijs te maken moet zijn. Hiermee komt een redelijke terugverdientijd en dus grote markt-acceptatie en bijbehorende CO₂ besparing binnen bereik. Gaswarmtepompen hebben in de jaren 90 al eens de naam Super Rendement (SR) ketel gekregen, als toekomstige opvolger van de Verbeterd Rendement (VR) en Hoog Rendement (HR) ketels.

Verduurzaming via het gasnet. De adsorptietechnologie uit dit project kan daarmee een grote impuls geven aan verduurzaming via het gasnet. In combinatie met het vergroenen van het gasnet (biogas en synthetisch gas), toekomstige Power to Gas oplossingen (productie van waterstof uit elektriciteitsoverschotten), seizoensbuffering via het gasnet en een efficiënter gebruik van gas voor verwarming geeft dit de bestaande gasnetten in West-Europese en Aziatische landen een unieke kans om één van de pijlers te worden in de energietransitie.

2.1.2 De Cooll carbon-ammonia adsorptiewarmtepomp

De cyclus. Cooll's adsorptiewarmtepomp bevat een vergelijkbare continue cyclus als een normale elektrische warmtepomp. Compressie van het koudemiddel vindt nu echter plaats met een door warmte aangedreven adsorptiecompressor in plaats van een elektrisch-mechanische compressor, zie Figuur 1. De benodigde warmte is hierbij afkomstig uit een brander.



Figuur 1. Vergelijking tussen een warmtepompcyclus met elektrische (links) en adsorptie-compressor (rechts).

De adsorptiecompressor bestaat uit twee drukvaten gevuld met hoogwaardige actieve kool die cyclisch worden verwarmd en afgekoeld; een complete cyclus duurt ongeveer 10 minuten. Tijdens verwarming van zo'n drukvat (tot ongeveer 180 °C) wordt het koudemiddel onder hoge druk uit het adsorptiemateriaal geperst en via een passief ventiel naar de hogedrukszijde van de warmtepomp geleid. Het koudemiddel condenseert in de condensor en geeft daar zijn warmte af aan het verwarmingscircuit van de woning (op bijvoorbeeld 60 °C), waarna de druk van het koudemiddel

wordt verlaagd via het expansieventiel. Het koudemiddel verdampt weer in de verdamper bij een lage temperatuur (bijvoorbeeld 0 °C van de buitenlucht) en neemt zo energie op uit de koude omgeving. Daarna stroomt het koudemiddel via een passief ventiel naar het andere drukvat dat op de begintemperatuur staat (60 °C in dit voorbeeld), waarbij het koudemiddel weer aan het adsorptiemateriaal adsorbeert. Na ongeveer 5 minuten draait de functie van de twee drukvaten om en zo ontstaat een continu proces. Ten opzichte van een standaard verbrandingsketel zit de winst in de extra warmte die via de verdamper en de condensor beschikbaar komt.

De innovatie. De voordelen van de technologie zijn het resultaat van de integratie van enkele innovaties, die sinds 2010 door Coolt en haar partners systematisch zijn ontwikkeld:

1. Carbon-ammonia adsorptiecyclus met 'thermal wave heat recovery' binnen de adsorptiecompressor. Hiermee wordt het **hoge rendement** van de technologie bereikt.
2. Uniek ontwerp van de twee adsorptie-vaten, geoptimaliseerd voor de 'thermal wave heat recovery' werking. Daarnaast is het compressorontwerp geoptimaliseerd voor **maximale energiedichtheid en dus minimale afmetingen**, wat belangrijk is voor toepassing in een consumentenproduct met compacte afmetingen en laag gewicht.
3. Hoogwaardige actieve kool, volledig geoptimaliseerd voor toepassing in de technologie. Samen met het ontwerp van de adsorptiecompressor vormt dit **het hart van de technologie**.

Voordelen. Coolt's gepatenteerde technologie resulteert in een aantal belangrijke voordelen ten opzichte van vergelijkbare technieken:

1. **Reductie van 30-50% van de benodigde energie en bijbehorende CO2-uitstoot**, in vergelijking met traditionele gasgestookte verwarmingstechnologieën. Ook in vergelijking met elektrische warmtepompen is de CO2-uitstoot lager, zeker zolang de kolencentrales in Nederland niet zijn gesloten.
2. De technologie is ook prima **geschikt voor duurzamere energiedragers zoals biogas en (groen) waterstof**, waarmee verdere reductie in CO2-uitstoot mogelijk wordt. Voordeel van deze energiedragers (ten opzichte van groene stroom) is dat deze op seizoensbasis opgeslagen kunnen worden voor gebruik in koude periodes. Daarmee komt voor de toekomst een omzettingstechnologie beschikbaar in een nieuwe duurzame energieketen t.b.v. woningverwarming:
Energieopwekking vanuit (zomerse) overschotten aan elektriciteit (via PV en wind) → omzetting en buffering (bijvoorbeeld via waterstof) → distributie (via het bestaande gasnet) → zeer efficiënte omzetting naar warmte, toepasbaar in de bestaande bouw (via onze technologie).
Dit voorkomt kostbare piekverzwaring van de elektriciteitsopwekking en het distributienet, nodig bij grootschalige toepassing van elektrische warmtepompen in koude periodes.
3. De technologie kan het hart vormen van een lucht-water gaswarmtepomp, **op korte termijn een mogelijke opvolger van de HR-ketel** in de bestaande bouw:
 - a. Door het lage gewicht is het systeem geschikt voor binnenplaatsing, de afmetingen zijn vergelijkbaar met die van een grote HR-ketel.
 - b. De warmtepomp kan daarbij buitenlucht (via de woningschil) als warmtebron gebruiken. Voor een efficiënte werking is dus geen bodembron nodig.
 - c. Hij kan zonder groot rendementsverlies worden aangesloten op traditionele hoge temperatuur (HT) radiatoren.
 - d. De technologie is stil (geen bewegende delen in decompressor).
 - e. De technologie is relatief eenvoudig, waardoor naar verwachting een acceptabele terugverdientijd mogelijk is. Hiermee komt een grote markt en bijbehorende verduurzaming binnen bereik.
4. **Koeling is als extra optie mogelijk**, al dan niet aangedreven door zonnecollectoren. Dit is een logisch concept: in warme klimaten valt de koelbehoefte (per dag en seizoen) samen met een grote instraling van zonne-energie. Door deze zonne-energie via een zonnecollector op te vangen en direct te koppelen aan een koelsysteem is er geen energie-transport nodig, geen energieopslag, en zijn er nauwelijks omzettingsverliezen. Economische toepassing voor koeling wordt op termijn met name interessant als dezelfde sorptiewarmtepomp wordt gecombineerd in één systeem voor zon-aangedreven koeling in de zomer en zeer efficiënte (bio-)brandstof aangedreven verwarming in de winter. Alle benodigde systeemcomponenten

worden dan jaarrond optimaal benut. Deze toepassing is extra interessant voor landklimaten met koude winters en warme zomers.

2.1.3 Projectdoelstelling

Het hoofddoel van dit project is de ontwikkeling van het hart van Cooll's adsorptiewarmtepomptechnologie, de technologisch nieuwe en complexe adsorptiecompressor. Na afloop van het project moet er een gefabriceerd en werkend prototype-ontwerp liggen in combinatie met een haalbaar productieproces dat als basis kan dienen voor toekomstige productontwikkeling en industrialisatie in een vervolgfase. Het resulterende compressorontwerp moet op termijn tegen een acceptabele prijs en met de juiste betrouwbaarheid in grote aantallen kunnen worden geproduceerd.

3 Behaalde resultaten, knelpunten en perspectief voor toepassing

- In een nauwe samenwerking tussen projectpartners en externe partners is gewerkt aan de ontwikkeling van een groot aantal onderdelen en productieaspecten van de eerste full-size adsorptiecompressor, welke het hart vormt van de technologie van Cooll.
- Er zijn meerdere adsorptiecompressoren geassembleerd, met een aantal variaties tussen de verschillende exemplaren, ten behoeve van testen.
- Uit de testen in de demonstrator warmtepomp bleek dat de compressor voldeed aan de belangrijkste functies: de warmtepomp kon worden aangedreven met de adsorptiecompressor, en de gemeten efficiencies lagen dicht bij de voorspelde waardes.
- Ook enkele direct gemeten parameters zoals drukvallen en temperaturen lagen dicht bij de voorspelde waardes.
- Er bleek echter ook een probleem bij deze eerste full-size adsorptiecompressor: De cyclisch optredende thermisch-mechanische spanningen, die optreden door het afwisselend opwarmen en afkoelen van de compressor, bleken nog te hoog. Het resultaat hiervan is dat er al bij een relatief beperkt aantal cycli falen optrad, waardoor de benodigde levensduur nog niet gehaald werd.
- Op basis van het bestaande compressorontwerp is via een systematische opzet gewerkt aan een herontwerp. Belangrijk aandachtspunt was hierbij de analyse van het vermoeiingsprobleem, en het vinden van oplossingen hiervoor. Hieruit zijn een aantal belangrijke ontwerpwijzigingen gekomen die zijn geïmplementeerd in het herontwerp.
- Op basis van het herontwerp is het productieproces inclusief een aantal belangrijke deelstappen opnieuw ontwikkeld.
- Er is een duurtest opstelling ontwikkeld en gebouwd, waarin de beoogde (minimale) levensduur van 15 jaar versneld kan worden getest, voor enkele adsorptiecompressoren tegelijk. Deze opstelling wordt nu gebruikt om de levensduur van de nieuwe compressor te testen.

4 Bijdrage aan de doelstellingen van de regeling

De adsorptiewarmtepomp technologie van Cooll voldoet goed aan de belangrijkste doelstelling van de programmaliijn: de warmtepomp maakt het mogelijk om de Primaire Energie uit fossiele of groene brandstoffen met een Primary Energy Ratio (PER) van ongeveer 1.5 toe te passen in een praktisch inpasbaar systeem voor (HT) verwarming. Ten opzichte van een recent op de markt verschenen gaswarmtepomp voor buitenplaatsing is dit een concurrerend rendement. Bij toepassing van Lage Temperatuur verwarming en/of een grondbron stijgt het rendement richting 1.7, en in combinatie met zonnecollectoren en een buffervat kunnen nog hogere rendementen worden gehaald. Ook ten opzichte van op de markt beschikbare moderne elektrische warmtepompen zijn dit vanuit Primaire Energie en CO2 besparing gezien zeer concurrerende besparingsgetallen.

De technologie is geschikt voor toepassing in de bestaande bouw.

Toekomstige integratie van de technologie in één systeem voor zowel verwarming, ventilatie als koeling (in combinatie met thermische zonnecollectoren) kan op termijn een zeer energiezuinige conversietechnologie opleveren, zeker als de aandrijving in de winter via biobrandstoffen gebeurt. Dit sluit aan op de programma-doelstelling van zon-thermische innovaties.

Meerdere parallelle technologieën zijn nodig om de klimaatdoelen van 2050 te kunnen halen. Door de introductie van hoog-efficiënte gaswarmtepompen kan een (geheel of gedeeltelijk) vergroend gasnet een groter deel van de duurzame markt bedienen. Het is dus niet óf all-electric óf groen gas, maar de combinatie van beide, die hopelijk in de toekomst gekoppeld kunnen worden via power to gas.

5 Spin-off

Spin-offs binnen de Urban Energy sector zijn de eerder genoemde adsorptiewarmtepompen aangedreven door vaste of vloeibare (bio)brandstoffen voor toepassing als woningverwarming, en zon-aangedreven koeling. Buiten de Urban Energy sector kan gedacht worden aan actieve (proces)koeling op restwarmte, ook in de automotive en transportsector.

6 Publicaties

Publicaties zijn er op dit moment nog zeer beperkt, afgezien van een reeks aan octrooi publicaties. Publicaties zullen gedaan worden als de technologie aan een groter publiek wordt gepresenteerd, naar verwachting ergens in de komende jaren.